饲粮能量和蛋白质水平对61~120日龄湖羊羔羊生长性能、氮代谢和血清生化指标的影响[1]

吕小康;祁敏丽;王杰;王世琴;崔凯;刁其玉;张乃锋

（中国农业科学院饲料研究所，农业部饲料生物技术重点开放实验室，北京 100081）

摘　要：本试验旨在研究饲粮能量和蛋白质水平对61~120日龄断奶湖羊羔羊生长性能、氮代谢及血清生化指标的影响。采用2×2两因素两水平试验设计，选取64只61日龄体重相近的纯种湖羊羔羊，随机分为4组，饲喂不同能量和蛋白质水平的饲粮，分别为高能量[代谢能（ME）为10.92 MJ/kg]高蛋白质[粗蛋白质（CP）为15.74%]组、高能量（ME为10.92 MJ/kg）低蛋白质(CP为11.78%）组、低能量（ME为8.64 MJ/kg）高蛋白质(CP为15.72%）组、低能量（ME为8.64 MJ/kg）低蛋白质(CP为11.82%）组，每组4个重复，每个重复4只，公母各占1/2。试验期60 d。结果表明：1)饲粮能量与蛋白质水平对羔羊生长性能指标不存在交互作用（P>0.05）；饲粮高能量高蛋白质水平显著提高了羔羊61~90日龄的平均日增重（P<0.05），显著降低了料重比（P<0.05）。2)饲粮高蛋白质水平显著提高了81~90日龄、111~120日龄羔羊氮摄入量（P<0.05）；饲粮低能量高蛋白质水平显著提高了81~90日龄、111~120日龄羔羊尿氮排出量（P<0.05），并且以低能量高蛋白质组尿氮排出量最高；对于81~90日龄羔羊，饲粮高能量高蛋白质水平显著提高了氮沉积（P<0.05），而饲粮低能量或高蛋白质水平显著降低了氮生物学效价（P<0.05）。3）羔羊120日龄时，饲粮低能量水平显著降低了血清葡萄糖含量（P<0.05），显著提高了血清尿素氮含量（P<0.05）；饲粮低蛋白质水平显著提高了血清胰岛素样生长因子Ⅰ含量（P<0.05）。综上所述，61~90日龄阶段，饲粮高能量高蛋白质水平可促进羔羊生长；91~120日龄阶段，可适当降低饲粮蛋白质水平以节约生产成本，不会对生长性能产生不利影响。

关键词：羔羊；能量水平；蛋白质水平；生长性能；氮代谢；血清生化指标

中图分类号：S826

羔羊时期是肉羊养殖过程中的一个重要环节，其不仅直接影响羔羊的生长发育，而且对其终生生长性能也产生很大影响。3~4月龄羔羊具有生长发育快、但消化系统功能仍不完善的特点，其营养需要参数的研究远滞后于成年羊，尤其是能量和蛋白质营养参数仍不明确，严重影响了羔羊的生长发育和肉羊产业的可持续发展。研究表明，饲粮能量和蛋白质水平显著影响羔羊的生长性能[1]，陈军强等[2]、李俊良等[3]研究发现羔羊能量和蛋白质不足显著降

低了其生长性能和器官发育。王波等[4]研究表明，低蛋白质饲粮显著降低了羔羊体重，而氮代谢效率显著提高。路新星等[5]发现羔羊营养不足导致血清甘油三酯（TG）含量显著下降。营养缺乏时，羔羊机体动用 TG 进行氧化供能以满足能量需要。羔羊营养缺乏时，血清激素亦会受到影响[6-7]。目前，营养水平对羔羊生长性能、氮代谢、血清生化指标的影响大多以放牧牛羊为主，在集约化饲养条件下的研究较少，制约了我国肉羊规模化养殖的可持续发展。因此，本试验以湖羊羔羊为研究对象，探索能量和蛋白质水平对羔羊生长性能、氮代谢及血清生化指标的影响，以期为集约化饲养条件下的羔羊培育提供营养调控措施。

1 材料与方法

1.1 试验时间和地点

于2015年1—5月在江苏省泰州市海伦羊业有限公司开展动物试验。

1.2 试验设计和试验动物

试验采用2×2两因素两水平试验设计，因素分别为能量和蛋白质，每个因素有高低2个水平。选取体重[（14.95±0.56） kg]相近的61日龄断奶湖羊羔羊64只随机分为4组，分别为高能量高蛋白质（HEHP）组、高能量低蛋白质（HELP）组、低能量高蛋白质（LEHP）组、低能量低蛋白质（LELP）组，每组4个重复，每个重复4只，公母各占1/2。HEHP组饲喂基础饲粮，HELP组在基础饲粮的基础上，粗蛋白质水平降低20%。LEHP组饲粮代谢能水平降低20%，LELP组粗蛋白质和代谢能水平同时降低20%。

试验期60 d，HEHP组羔羊自由采食，HELP、LEHP、LELP组羔羊饲喂量均参照HEHP组采食量进行饲喂，保持所有试验羔羊具有相近的采食量。

1.3 试验饲粮

参照25 kg杜寒杂交羊、日增重为300 g/d的营养需要量[8]设置HELP组饲粮营养水平，并相应地设置HELP、LEHP、LELP组饲粮营养水平。预混料由北京精准动物研究中心提供，自行配制试验所用饲粮，并制成颗粒（直径为4 mm，长度为10 mm）。试验饲粮组成及营养水平见表1。

表 1 试验饲粮组成及营养水平（干物质基础）

Table 1 Composition and nutrient levels of experimental diets (DM basis) %

项目 Items	组别 Groups			
	HEHP	HELP	LEHP	LELP
原料 Ingredients				

玉米 Corn	49.3	62.0	20.0	31.1
小麦麸 Wheat bran	4.4		16.5	14.5
豆粕 Soybean meal	7.3		20.5	11.3
苜蓿草粉 Alfalfa meal	35.0	31.0		
稻草 Straw meal		3.0	38.0	38.0
石粉 Limestone			1.0	1.1
预混料 Premix1)	4.0	4.0	4.0	4.0
合计 Total	100.0	100.0	100.0	100.0
营养水平 Nutrient levels2)				
干物质 DM	87.17	86.96	88.62	88.34
代谢能 ME/(MJ/kg)	10.92	10.92	8.64	8.64
粗蛋白质 CP	15.74	11.78	15.72	11.82
粗脂肪 EE	3.38	3.42	1.97	2.13
中性洗涤纤维 NDF	23.35	22.20	45.71	44.49
酸性洗涤纤维 ADF	14.36	13.73	25.86	25.00
钙 Ca	1.09	0.99	0.92	0.93
总磷 TP	0.60	0.53	0.63	0.59

1)预混料为每千克饲粮提供 The premix provided the following per kg of diets：VA 12 000 IU，VD 2 000 IU，VE 30 IU，Cu 12 mg，Fe 64 mg，Mn 56 mg，Zn 60 mg，I 1.2 mg，Se 0.4 mg，Co 0.4 mg，NaCl 6.4g。

2)营养水平除代谢能外均为实测值。Nutrient levels were all measured values except ME.

1.4 饲养管理

试验羔羊17日龄之前随母哺乳，之后逐渐过渡为饲喂代乳品，并开始补饲颗粒饲料，羔羊自由采食。20日龄时，羔羊完全断奶改为代乳品饲喂。羔羊60日龄时停止饲喂代乳品，完全饲喂颗粒饲料。代乳品由北京精准动物研究中心提供。试验期羔羊饲养于半开放式羊舍，通风良好。每天08:00和16:00饲喂。每隔半个月带羊消毒羊舍1次（0.5%百毒杀、0.1%新洁尔灭），于羔羊80日龄注射小反刍疫苗。

1.5 样品采集与测定指标

1.5.1 饲粮营养水平

常规养分分析参见张丽英[9]的方法，代谢能计算参照刘洁[10]的方法。

1.5.2 生长性能

每日准确记录羔羊采食量与剩料量，分别于羔羊61、90和120日龄晨饲前进行空腹称重，计算平均日增重和料重比。

1.5.3 氮代谢

分别于羔羊81~90日龄和111~120日龄每重复随机选取1只公羔羊，采用全收粪法进行消化代谢试验。消化代谢试验期10 d，其中预试期5 d，正试期5 d。准确记录正试期每只羔羊

每日排尿量和排粪量，收集粪样，再按照100 g鲜粪加入10%稀盐酸10 mL对粪样进行固氮，-20 ℃保存。每天向集尿盆中加入10%稀盐酸100 mL，收集每只羔羊每天的尿液，按每天尿液总量的1%取样，倒入专用的尿样瓶中，-20 ℃保存待测。常规养分分析参见张丽英[9]的方法。

1.5.4　血清生化指标

分别于羔羊61、90和120日龄晨饲（09:00）前对羔羊进行颈静脉采血，血液置于含有二氧化硅的促凝管内，静置30 min，以3 000 r/min离心，收集血浆，-20 ℃保存待测。样品采用全自动生化分析仪(日立7600，日本)和放射性免疫检验试剂盒测定血清葡萄糖（Glu）、尿素氮（UN）、TG含量。血清胰岛素样生长因子Ⅰ（IGF-Ⅰ）、生长激素（GH）含量采用酶联免疫吸附试验试剂盒测定，试剂盒购自卡迈舒(上海)有限公司。

1.6　统计方法

试验数据使用SAS 9.4采用GLM模型进行分析，采用Duncan氏法进行多重比较。所有数据均以$P<0.05$作为差异显著性判断标准。

2　结果与分析

2.1　饲粮能量和蛋白质水平对羔羊生长性能的影响

由表 2 可知，饲粮能量与蛋白质水平对羔羊生长性能指标不存在交互作用（$P>0.05$）。提高饲粮能量和蛋白质水平显著提高羔羊 90 和 120 日龄体重（$P<0.05$）。饲粮能量和蛋白质水平对羔羊 61~90、91~120 和 61~120 日龄的干物质采食量无显著影响（$P>0.05$）。饲粮低能量和低蛋白质水平显著降低了羔羊 61~90 日龄的平均日增重（$P<0.05$），显著提高料重比（$P<0.05$），但对羔羊 91~120 日龄和 61~120 日龄的平均日增重无显著影响（$P>0.05$）。

2.2　饲粮能量和蛋白质水平对羔羊氮代谢的影响

由表 3 可知，在 81~90 日龄，饲粮能量水平对羔羊的氮摄入量无显著性影响（$P>0.05$），而低蛋白质水平显著降低了羔羊氮摄入量（$P<0.05$）。饲粮能量和蛋白质水平对羔羊的粪氮排出量无显著性影响（$P>0.05$）。饲粮能量和蛋白质水平显著影响羔羊的尿氮、氮沉积，且二者存在交互效应（$P<0.05$）。能量水平的降低和蛋白质水平的提高均显著提高了尿氮排出量（$P<0.05$），并且以低能量高蛋白质组尿氮排出量最高。高能量高蛋白质组氮沉积显著高于其他各组（$P<0.05$），而在低能量水平时调整蛋白质水平或低蛋白质水平时调整能量水平，

均未影响羔羊氮沉积（$P>0.05$）。饲粮蛋白质水平对羔羊氮沉积率无显著性影响（$P>0.05$），但提高饲粮能量水平显著提高羔羊氮沉积率（$P<0.05$）；并且只在高蛋白质水平时，降低能量水平降低了羔羊氮沉积率（$P<0.05$）；而在低蛋白质水平时，能量水平对羔羊氮沉积率无显著影响（$P>0.05$）。饲粮低能量水平或高蛋白质水平显著降低了氮生物学效价（$P<0.05$）。

在 111~120 日龄，饲粮能量与蛋白质水平对羔羊氮代谢无交互效应（$P>0.05$）。饲粮能量水平对羔羊的氮摄入量无显著影响（$P>0.05$），而低蛋白质水平显著降低了氮摄入量（$P<0.05$）。饲粮能量和蛋白质水平对羔羊粪氮、氮沉积、氮沉积率、氮生物学效价无显著性影响（$P>0.05$），但显著影响尿氮排出量（$P<0.05$），降低能量水平或提高蛋白质水平均显著提高了羔羊尿氮排出量（$P<0.05$）。

2.3 饲粮能量和蛋白质水平对羔羊血清生化指标的影响

由表 4 可知，饲粮能量和蛋白质水平对羔羊血清生化指标均不存在交互效应（$P>0.05$）。饲粮能量和蛋白质水平对羔羊 61、90 日龄血清 Glu 含量无显著影响（$P>0.05$），但降低能量水平显著降低羔羊 120 日龄血清 GLU 含量（$P<0.05$）。饲粮能量和蛋白质水平对羔羊 61 日龄血清 UN 含量无显著影响（$P>0.05$），但低蛋白质水平显著降低了羔羊 90 日龄血清 UN 含量（$P<0.05$），低能量水平显著提高了 120 日龄羔羊血清 UN 含量（$P<0.05$）。饲粮能量和蛋白质水平对羔羊 61、90、120 日龄的血清 TG 和 GH 含量无显著影响（$P>0.05$）。羔羊 61 和 90 日龄时，饲粮能量水平对血清 IGF-Ⅰ含量无显著影响（$P>0.05$），但低蛋白质水平显著提高了 120 日龄羔羊血清 IGF-Ⅰ含量（$P<0.05$）。

表 2　饲粮能量和蛋白质水平对羔羊生长性能的影响

Table 2　Effects of dietary energy and protein levels on growth performance of lambs

项目 Items	日龄 Days of age	组别 Groups				SEM	能量 Energy		蛋白质 Protein		P 值 P-value		
		HEHP	HELP	LEHP	LELP		高 High	低 Low	高 High	低 Low	能量 Energy	蛋白质 Protein	能量×蛋白质 Energy×protein
体重 BW/（kg）	61	14.95	14.85	14.99	15.01	0.26	14.75	15.00	14.97	14.78	0.341	0.490	0.430
	90	22.94	22.19	21.44	20.85	0.23	22.11[a]	21.15[b]	22.19[a]	21.10[b]	0.012	0.005	0.378
	120	29.90	28.12	27.50	25.35	0.63	29.01[a]	26.40[b]	28.70[a]	26.71[b]	0.008	0.033	0.229
平均日增重 ADG/（g/d）	61~90	266.65	224.57	215.10	199.26	14.00	235.91[a]	217.68[b]	231.83[a]	221.76[b]	0.003	0.017	0.230
	91~120	232.25	227.94	201.98	248.26	24.42	245.10	207.38	231.32	220.17	0.849	0.418	0.334
	61~120	251.90	222.05	211.04	178.01	14.22	230.00	225.53	217.57	238.96	0.157	0.470	0.200
干物质采食量 DMI/（g/d）	61~90	857.37	877.47	866.56	895.47	6.27	876.42	881.02	861.97	886.47	0.256	0.052	0.706
	91~120	1 296.76	1 346.14	1 338.62	1 333.28	8.89	1 321.45	1 335.95	1 317.69	1 339.71	0.399	0.209	0.125
	61~120	1 077.07	1 111.81	1 102.59	1 114.38	6.46	1 094.44	1 108.48	1 089.83	1 113.09	0.251	0.069	0.344
料重比 F/G	61~90	3.20	3.92	4.05	4.58	0.22	3.56[b]	4.32[a]	3.63[b]	4.25[a]	0.005	0.017	0.680
	91~120	5.65	6.77	6.72	6.56	0.92	6.21	6.64	6.19	6.67	0.646	0.611	0.497
	61~120	4.33	5.03	5.28	5.50	0.26	4.68[b]	5.40[a]	4.81	5.27	0.017	0.101	0.365

同行数据肩标不同字母表示差异显著（*P*<0.05）。下表同。

In the same row， values with different letter superscripts mean significant difference (*P*<0.05). The same as below.

表 3　饲粮能量和蛋白质水平对羔羊氮代谢的影响

Table 3　Effects of dietary energy and protein levels on nitrogen metabolism of lambs

项目 Items	组别 Groups				SEM	能量 Energy		蛋白质 Protein		P 值 P-value		
	HEHP	HELP	LEHP	LELP		高 High	低 Low	高 High	低 Low	能量 Energy	蛋白质 Protein	能量×蛋白质 Energy×protein

81~90 日龄 81 to 90 days of age												
氮摄入量 N intake/（g/d）	181.83	142.73	197.10	148.04	6.14	162.28	172.57	189.46[a]	145.39[b]	0.052	<0.001	0.228
粪氮 Fecal N/（g/d）	32.50	36.10	38.38	30.68	1.90	34.30	34.53	35.44	33.39	0.954	0.607	0.172
尿氮 Urinary N/（g/d）	33.25[b]	19.75[c]	65.62[a]	32.19[b]	4.60	26.50[b]	48.90[a]	49.44[a]	25.97[b]	<0.001	<0.001	0.008
氮沉积 Deposit N/（g/d）	116.07[a]	86.89[b]	93.11[b]	85.17[b]	3.73	101.48[a]	89.14[b]	104.59[a]	86.03[b]	0.014	0.001	0.030
氮沉积率 N deposition rate/%	63.83[a]	60.88[a]	47.24[b]	57.53[a]	2.13	62.53[a]	51.65[b]	55.60	59.17	0.001	0.136	0.015
氮生物学效价 Biological value of N/%	77.72	81.49	58.66	72.57	2.01	79.79[a]	65.57[b]	67.91[b]	76.81[a]	<0.001	0.001	0.051
111~120 日龄 111 to 120 days of age												
氮摄入量 N intake/（g/d）	166.30	129.51	179.10	147.10	5.64	147.90	163.10	172.70[a]	138.30[b]	0.055	<0.001	0.715
粪氮 Fecal N/（g/d）	47.83	49.12	44.03	45.02	3.47	48.48	44.52	45.93	47.07	0.616	0.885	0.984
尿氮 Urinary N/（g/d）	52.50	33.72	66.81	47.37	3.32	43.11[b]	57.09[a]	59.66[a]	40.54[b]	<0.001	<0.001	0.912
氮沉积 Deposit N/（g/d）	66.81	47.37	65.96	46.67	4.22	56.31	61.49	67.11	50.69	0.530	0.062	0.725
氮沉积率 N deposition rate/%	40.17	36.58	37.83	35.72	2.06	38.07	37.20	38.86	36.15	0.824	0.627	0.939
氮生物学效价 Biological value of N/%	55.39	56.93	50.83	51.72	2.27	56.43	51.36	52.94	53.56	0.367	0.785	0.974

表 4 饲粮能量和蛋白质水平对羔羊血清生化指标的影响

Table 4 Effects of dietary energy and protein levels on serum biochemical indices of lambs

项目 Items	日龄 Days of age	组别 Groups				SEM	能量 Energy		蛋白质 Protein		*P* 值 *P*-value		
		HEHP	HELP	LEHP	LELP		高 High	低 Low	高 High	低 Low	能量 Energy	蛋白质 Protein	能量×蛋白质 Energy×protein
葡萄糖 Glu/（mmol/L）	61	6.22	5.73	5.76	5.55	0.21	5.98	5.66	6.00	5.64	0.150	0.116	0.520
	90	5.05	4.68	4.40	5.12	0.51	4.86	4.76	4.72	4.90	0.840	0.743	0.302
	120	4.87	5.45	4.13	4.49	0.25	5.16[a]	4.31[b]	4.50	4.97	0.005	0.084	0.669
尿素氮 UN/（mmol/L）	61	4.60	5.28	5.60	5.16	0.36	4.94	5.38	5.10	5.22	0.243	0.740	0.142
	90	5.26	4.04	7.21	4.49	0.85	4.66	5.85	6.24[a]	4.27[b]	0.182	0.038	0.393
	120	4.90	3.25	5.95	45.43	0.58	4.07[b]	5.69[a]	5.43	4.34	0.016	0.083	0.349
甘油三酯 TG/（mmol/L）	61	0.64	0.46	0.66	0.60	0.07	0.55	0.63	0.65	0.53	0.271	0.095	0.413
	90	0.31	0.34	0.37	0.43	0.05	0.32	0.41	0.34	0.38	0.109	0.402	0.789
	120	0.34	0.35	0.39	0.37	0.06	0.35	0.38	0.37	0.36	0.571	0.902	0.796

生长激素 GH/（pg/mL）	61	624.91	601.54	651.43	620.87	11.83	613.22	636.15	638.17	611.20	0.467	0.404	0.910
	90	521.09	635.25	557.95	573.68	27.32	578.17	565.81	539.52	604.46	0.830	0.271	0.399
	120	560.64	636.59	547.61	617.72	22.77	598.62	582.66	554.13	627.16	0.735	0.139	0.951
胰岛素样生长因子Ⅰ IGF-Ⅰ/（ng/mL）	61	6.04	7.11	8.00	6.19	1.70	6.58	7.10	7.03	6.65	0.457	0.586	0.055
	90	5.76	7.52	6.56	5.95	1.21	6.65	6.26	6.17	6.74	0.575	0.405	0.099
	120	6.28	8.01	6.67	6.91	1.34	7.15	6.79	6.47[b]	7.46[a]	0.321	0.014	0.051

3 讨 论

3.1 饲粮能量和蛋白质水平对羔羊生长性能的影响

饲粮能量水平会影响羔羊的采食量[11]，所以本试验参照 HEHP 组羔羊的饲喂量来调整 HELP、LEHP、LELP 组羔羊的饲喂量，以便于观察饲粮能量和蛋白质水平对羔羊的影响，排除采食量不同带来的干扰，结果表明 4 组羔羊干物质采食量无显著差异，这符合试验设计的要求。本试验中，羔羊 61~90 日龄时提高饲粮能量水平显著提高羔羊平均日增重，这与 Kabir 等[12]与 Yerradoddi 等[13]研究结果一致。然而 Ríos-Rincón 等[11]发现，饲粮能量水平对羔羊平均日增重无显著影响，原因可能是能量水平对羔羊平均日增重的调节作用，只有在较低能量水平下才显示出来。饲粮能量水平对羔羊 91~120 日龄和 61~120 日龄的平均日增重无显著影响，张崇志等[14]研究得到了相似的结果，这与羔羊 61~90 日龄主要是肌肉生长，而 91~120 日龄脂肪沉积增加，沉积脂肪所需能量较多有关[15]。饲粮蛋白质水平对羔羊的平均日增重影响与饲粮能量水平的影响一致，崔晓鹏等[16]研究也表明，在羔羊 61~90 日龄阶段，饲粮蛋白质水平提高，提高羔羊平均日增重，可能是由于羔羊这个阶段正处于骨骼、肌肉和器官的快速发育期，提高饲粮蛋白质水平，促进了羔羊的发育。本试验中，羔羊 61~90 日龄时提高饲粮能量和蛋白质水平显著降低羔羊料重比，在羔羊 91~120 日龄时提高饲粮能量水平显著降低料重比，但提高蛋白质水平对料重比无显著影响。综合以上考虑，在羔羊 91~120 日龄阶段可以降低饲粮蛋白质水平来节约饲粮成本，提高经济效益。

3.2 饲粮能量和蛋白质水平对羔羊氮代谢的影响

氮是机体的重要元素，氮的利用率反映了动物对蛋白质的利用率。本试验中，提高饲粮蛋白质水平显著提高 81~90 日龄和 111~120 日龄的羔羊氮摄入量，这符合试验要求。饲粮能量和蛋白质水平对 81~90 日龄和 111~120 日龄的羔羊粪氮排出量无显著影响，这与郭志明[17]的研究一致。羔羊 81~90 日龄和 111~120 日龄阶段，提高饲粮能量水平显著降低尿氮排出量，提高饲粮蛋白质水平显著增加尿氮排出量。羔羊 81~90 日龄提高饲粮能量水平，显著提高了氮沉积、沉积率与生物学效价，这可能与提高饲粮促进瘤胃微生物生长繁殖，并促进了微生物蛋白质的合成有关。提高饲粮蛋白质水平显著提高氮沉积和氮生物学效价，这与云强等[18]研究一致，但对氮沉积率无显著影响，原因可能是蛋白质供应量超过机体需要量时，多余的氮从尿中排出[19]，导致氮沉积率无显著差异。但羔羊 111~120 日龄时，提高饲粮能量与蛋白

质水平，对氮沉积、沉积率和生物学效价无显著影响。这表明，羔羊的氮代谢与生长发育阶段有关。

3.3 饲粮能量和蛋白质水平对羔羊血清生化指标的影响

血清生化指标的变化能够反映机体的代谢变化[20]。血清 GLU 含量可以反映出机体的能量代谢情况[21]。研究表明，饲粮的能量水平会对机体的血清 GLU 含量产生影响[22]。本试验中，饲粮能量和蛋白质水平对羔羊 61 和 90 日龄的血清 GLU 含量无显著影响，这与王波等[4]和 Mellado 等[23]研究一致。但在羔羊 120 日龄时，降低饲粮能量水平显著降低了羔羊血清 GLU 含量，巩峰等[24]研究得到了相似的结果。血清 UN 含量是氮代谢的重要指标，血清 UN 含量低表明机体氮代谢效率高[25]。本试验中，羔羊 61 日龄时，饲粮能量和蛋白质水平对血清 UN 含量无显著影响，但在羔羊 90 日龄时，提高饲粮蛋白质水平，显著提高了血清 UN 含量，这表明饲粮中过量的蛋白质降低羔羊的氮代谢效率，增加肝脏、肾脏负担。羔羊 120 日龄时，提高饲粮能量水平显著降低血清 UN 含量，原因可能是提高饲粮能量水平，促进了微生物蛋白质的合成，提高了蛋白质利用率，降低了血清 UN 含量。血清 TG 与机体的能量代谢密切相关，可以被机体各组织分解，其含量可以反映出机体对脂肪的利用程度[26]。本试验中，饲粮能量和蛋白质水平对羔羊 61、90、120 日龄的血清 TG 含量均无显著影响。这与宋晓雯等[27]研究结果不同，原因可能是机体血清 TG 含量与羔羊的年龄阶段有关。

GH 可以控制动物的生长和营养物质代谢，其主要作用是促进脂肪分解与蛋白质合成。胰岛素样生长因子（IGF）包括 IGF-Ⅰ和 IGF-Ⅱ，起主要作用的是 IGF-Ⅰ，可以促进动物的生长发育。有研究表明，血清 GH 含量可能与平均日增重有关[28]。饲粮能量和蛋白水平对羔羊 61、90、120 日龄的血清 GH 含量均无显著影响，原因可能是 4 组羔羊的平均日增重差异不显著，羔羊发育程度基本一致，导致血清 GH 含量无显著差异。本试验中，饲粮能量和蛋白质水平对羔羊 61、90 日龄的血清 IGF-Ⅰ含量无显著影响，这与 Sun 等[6]研究结果一致，可能是本试验中饲粮能量和蛋白质水平的降低不足以引起羔羊血清 IGF-1 的变化[7]，也可能是因为本试验中，4 组之间血清 GH 含量无显著差异，而动物体中 IGF-Ⅰ的含量受到 GH 的调控[29]。但在羔羊 120 日龄时，提高饲粮蛋白质水平反而降低了血清 IGF-Ⅰ含量，而闫云峰等[30]和李俊良等[3]发现，羔羊血清 IGF-Ⅰ含量与饲粮蛋白质水平呈正相关，结果的不同可能是羔羊个体差异造成的，也可能与羔羊的日龄有关。综合以上考虑，在羔羊 91~120 日

龄阶段，可以适当降低饲粮蛋白质水平来节约生产成本，提高经济效益。

4 结 论

①在羔羊 61~90 日龄时，提高饲粮能量和蛋白质水平，增强羔羊生长性能和 81~90 日龄的氮代谢，但提高饲粮能量和蛋白质水平对 91~120 日龄羔羊生长性能和 111~120 日龄氮代谢影响相对较小。

②在羔羊 61~90 日龄阶段，饲粮高能量高蛋白质水平可促进羔羊生长；91~120 日龄阶段，可适当降低饲粮蛋白质水平以节约生产成本，不会对生长性能产生不利影响。

参考文献：

[1] ELAMIN K M.Effects of energy/protein levels on the performance of Sudan goat ecotypes[J].Journal of Animal Production Advances,2012:146–152.

[2] 陈军强,丁路明,高强,等.限饲与营养补偿对小尾寒羊生长性能、消化代谢和瘤胃液纤维素酶活性的影响[J].动物营养学报,2015,27(7):2085–2093.

[3] 李俊良,侯先志,杨金丽,等.营养限制与补偿对蒙古羔羊体重和血液中生长相关激素的影响[J].饲料工业,2012,33(9):43–46.

[4] 王波,柴建民,王海超,等.蛋白水平对早期断奶双胞胎湖羊公羔营养物质消化与血清指标的影响[J].畜牧兽医学报,2016,47(6):1170–1179.

[5] 路新星,杨金丽,王海荣,等.营养限饲与补偿对蒙古羔羊体重、血清生化指标及胸脂脂肪因子基因表达的影响[J].中国畜牧兽医,2015,42(12):3202–3209.

[6] SUN Z H,HE Z X,ZHANG Q L,et al.Effects of protein and/or energy restriction for six weeks on antioxidation capacity of plasma and gastrointestinal epithelial tissues of weaned kids[J].Livestock Science,2012,149(3):232–241.

[7] 祁敏丽,刁其玉,马铁伟,等.饲粮营养限制对羔羊肠道组织形态以及血清胰岛素样生长因子-1和胰高血糖素样-2浓度的影响[J].动物营养学报,2017,29(2):426–435.

[8] 许贵善.20~35kg杜寒杂交羔羊能量与蛋白质需要量参数的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2013.

[9] 张丽英.饲料分析及饲料质量检测技术[M]2版.北京:中国农业大学出版社,2003.

[10] 刘洁.肉用绵羊饲料代谢能与代谢蛋白质预测模型的研究[D].博士学位论文.北京:中国农业科学院,2012.

[11] RÍOS-RINCÓN F G,ESTR-ADAANGULO A,PLASCENCIA A,et al.Influence of protein and energy level in finishing diets for feedlot hair lambs:Growth performance,dietary energetics and carcass characteristics[J].Asian-Australasian Journal of Animal Sciences,2014,27(1):55–61.

[12] KABIR M E,SARKER M B,SAHA B K,et al.Effect of different levels of dietary energy on growth and carcass traits of Black Bengal goat[J].Bangladesh Journal of Animal Science,2011,43(2):159–165.

[13] YERRADODDI R R,KHAN A A,MALLAMPALLI S R,et al.Effect of protein and energy levels in sweet sorghum bagasse leaf residue-based diets on the performance of growing Deccani lambs[J].Tropical Animal Health and Production,2015,47(4):743–749.

[14] 张崇志,高爱武,杨金丽, 等.前期营养水平对羔羊两阶段育肥效果的影响[J].中国畜牧兽医,2011,38(11):8-13.

[15]乔永,黄治国,李齐发,等.绵羊肌肉*lpl*基因表达的发育性变化及其对肌内脂肪含量的影响[J].中国农业科学,2007,40(10):2323–2330.

[16]崔晓鹏,侯生珍,王志有,等.不同蛋白质水平饲粮对藏羔羊生长发育的影响[J].动物营养学报,2017,29(3):1065–1073.

[17] 郭志明.不同营养饲粮对羔羊氮消化和代谢的影响[J].畜牧兽医杂志,2004,23(3):15–16.

[18] 云强,刁其玉,屠焰,等.开食料中粗蛋白质水平对荷斯坦犊牛养分消化率和氮代谢的影响[J].中国饲料,2010(9):11–14.

[19] 岳喜新,刁其玉,马春晖,等.代乳粉蛋白质水平对早期断奶羔羊生长发育和营养物质代谢的影响[J].中国农学通报,2011,27(3):268–274.

[20] JOSHI P K,BOSE M,HARISH D.Changes in certain haematological parameters in a siluroid cat fish *Clarias batrachus* (Linn) exposed to cadmium chloride[J].Pollution Resource,2002(21):129–131.

[21] GRAUGNARD D E,BIONAZ M,TREVISI E,et al.Blood immunometabolic indices and polymorphonuclear neutrophil function in peripartum dairy cows are altered by level of dietary energy prepartum[J].Journal of Dairy Science,2012,95(4):1749–1758.

[22] OLER A,GŁOWIŃSKA B.Blood chemistry,thyroid hormones,and insulin serum content in bulls fed a ration limited in energy[J].Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences,2013,37(2):194–199.

[23] MELLADO M,MEZA-HERRERA C A,ARÉVALO J R,et al.Effect of dietary energy intake and somatotropin administration after weaning on growth rate and semen characteristics of Granadina goat bucks[J].Turkish Journal of Veterinary & Animal Sciences,2012,36(4):338–345.

[24] 巩峰,王建民,王桂芝,等.饲粮不同能量水平对育肥奶山羊公羊生长性能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2013,25(1):208–213.

[25] 李改英,廉红霞,孙宇,等.青贮紫花苜蓿对奶牛生产性能、尿素氮和血液生化指标的影响[J].草业科学,2015,32(8):1329–1336.

[26] ABDEL-SALAM A M,ZEITOUN M M,ABDELSALAM M M.Effect of synbiotic supplementation on growth performance,blood metabolites,insulin and testosterone and wool traits of growing lambs[J].Journal of Biological Sciences,2014,14:292–298.

[27] 宋晓雯,朱风华,王利华,等.饲粮能量水平对育成期崂山奶山羊生长性能和血清生化指标的影响[J].动物营养学报,2016,28(2):609–617.

[28] PURCHAS R W,MACMILLAN K L,HAFS H D.Pituitary and plasma growth hormone levels in bulls from birth to one year of age[J].Journal of Animal Science,1970,31(2):358–363.

[29] 宋天增,冯静,夏晨阳,等.半胱胺对藏绵羊断奶羔羊血清GH、SS、IGF-1水平的影响[J].畜牧与饲料科学,2014,35(1):5–7.

[30] 闫云峰,杨华,杨永林,等.日粮不同蛋白质水平对绵羊IGF-1和GH分泌及基因表达的影响[J].畜牧兽医学报,2015,46(1):85–95.

Effects of Dietary Energy and Protein Levels on Growth Performance, Nitrogen Metabolism and Serum Biochemical Indices of *Hu* Lambs at 61 to 120 days of age

LYU Xiaokang　QI Minli*　WANG Jie　WANG Shiqin　CUI Kai　DIAO Qiyu　ZHANG Naifeng**

(*Key Laboratory of Feed Biotechnology of the Ministry of Agriculture, Feed Research Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing* 100081, *China*)

Abstract: This experiment was conducted to investigate the effects of dietary energy and protein levels on growth performance, nitrogen metabolism and serum biochemical indices of *Hu* lambs at 61 to 120 days of age. With a 2×2 two factors and two levels experimental design, sixty-four *Hu* lambs with similar body weight at 61 days of age were randomly allocated into 4 groups, which were high energy [metabolizable energy (ME)=10.92 MJ/kg] and high protein [crude protein (CP)=15.74%] group, high energy （ME=10.92 MJ/kg） and low protein （CP=11.78%) group, low energy （ME=8.64 MJ/kg） and high protein （CP=15.72%) group, and low energy （ME=8.64 MJ/kg） and low protein （CP=11.82%) group; each group had 4 replicates with 4 lambs per group. The experimental period lasted for 60 days. The results showed as follows: 1) No interaction was observed between dietary energy and protein levels on growth performance of lambs （P>0.05）; high dietary energy and protein levels improved average daily gain of lambs at 61 to 90 days of age (P<0.05), and significantly decreased feed to gain ratio（P>0.05）. 2) Dietary high protein level significantly increased nitrogen intake of lambs at 81 to 90 days of age and 111 to 120 days of age （P<0.05）; dietary low energy and high protein level significantly increased urinary nitrogen output of lambs at 81 to 90 days of age and 111 to 120 days of age （P<0.05）, and low energy and high protein group had the highest value; at 81 to 90 days of age, dietary high energy and high protein levels significantly increased nitrogen retention (P<0.05), while dietary low energy level or high protein level significantly decreased biological value of nitrogen (P<0.05). 3) At 120 days of age, dietary low energy level significantly decreased serum glucose content (P<0.05), significantly increased serum urinary nitrogen content (P<0.05); moreover,

---

*Contributed equally
*Corresponding author, professor, E-mail: zhangnaifeng@caas.cn　　(责任编辑　王智航)

dietary low protein level significantly increased serum insulin-like growth factor Ⅰ content (P<0.05). In summary, dietary high energy and protein levels can improve growth performance of lambs at 61 to 90 days of age; however, the feeding cost of lambs can be controlled without affecting growth performance with low protein diet at of 91 to 120 days of age.

Key words: lambs; energy level; protein level; growth performance; nitrogen metabolism; serum biochemical parameter